مهندسی عمران شریف، (تابستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۲ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۲۱-۱۳۵، (یادداشت فنی)

Research Note

راهبرد بهینه‌ی کارفرما و پیمانکار در پروژه‌ی مواجه با تأخیر، با رویکرد نظریه‌ی بازی‌ها

احسان‌اله اشتهاردیان* (استادیار)
گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس
رضا عباس‌نیا (دانشیار)
جواد محمدی تقی‌آباد (دانشجوی کارشناسی ارشد)
علیرضا چاله‌کایی (دانشجوی دکتری)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

از آنجا که تأخیر در پروژه‌های عمرانی یکی از معضلات مهم و چالش برانگیز بین کارفرما و پیمانکار است، معمولاً به کمک روش‌های کنترل پروژه و بررسی مداوم برنامه‌ی زمان‌بندی، انحراف از برنامه‌ی زمان‌بندی و تاریخ اتمام پروژه مشخص می‌شود. به دلیل اینکه برگرداندن پروژه به زمان‌بندی اولیه‌ی پیمانکار، مستلزم صرف هزینه‌های زیاد خواهد شد و از طرفی ادامه‌ی روند قبلی و تکمیل دیرهنگام پروژه، باعث خسارت‌دیدن کارفرما خواهد شد؛ در مواجهه با تأخیر، تعارضی بین منافع کارفرما و پیمانکار به‌وجود خواهد آمد. از آنجا که تاکنون برای حل و فصل این نوع منازعات ، راه حلی مشخص در قالب یک چهارچوب معین برای هر پروژه ارائه نشده است، برای رفع این مشکل در این نوشتار با رویکردی کتابخانه‌یی ـ میدانی و از طریق گردآوری داده‌هایی از اسناد و مدارک موجود با استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها، برای توصیف رفتار کارفرما و پیمانکار در پروژه‌یی که با تأخیر مواجه شده است، مدلی ارائه شده است. برای ارائه‌ی این مدل از نظریه‌ی بازی‌های استفاده شده است، و از طریق چانه‌زنی به روش‌های نش و کالایی ـ اسموردینسکی راهکارهایی ارائه شده است. در انتها، ضمن حل یک مطالعه‌ی موردی راهبردهای ممکن برای کارفرمایان و پیمانکاران و دستاوردهای هرکدام در این بازی آورده شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت پروژه، تأخیر در پروژه‌های عمرانی، نظریه‌ی بازی‌ها، چانه‌زنی.

eshtehardian@modares.ac.ir
abbasnia@iust.ac.ir
j.mohammadi.t@gmail.com
a.chalekaee@gmail.com

۱. مقدمه

تأخیر یک پروژه عبارت از مدت زمانی است که آن پروژه نسبت به زمان‌بندی مصوب، دیرتر خاتمه پیدا کند. وقوع تأخیر به دلیل ارتباط پویای پروژه با محیط، نیروی انسانی و منابع امری محتمل است. برخی پژوهشگران دلایل عمده‌ی تأخیرهای ثبت‌شده در مطالعات گذشته را جمع‌بندی کرده‌اند،[۱و۲] که برخی از آنها عبارت‌اند از: مشکلات مالی (کمبود اعتبار، نقدینگی و منابع)، اختلاف نظرهای مالی، ضعف پیمانکار و طراح در برنامه‌ریزی و سامان‌دهی، بهره‌وری پایین نیروی کار، ضعف کارفرما و مشاور در کنترل اجرا و ارتباطات ضعیف، قرارداد نامناسب، آب و هوای نامساعد و شرایط پیش‌بینی‌نشده‌ی کارگاه. در عموم پژوهش‌هایی که تاکنون پیرامون رخداد تأخیر انجام شده است، شناسایی دلایل رخداد تأخیر با تکیه بر میزان تأثیرشان،[۳-۵] بررسی روش‌های مختلف محاسبه‌ی تأخیرها،[۶و۷] تخمین مدت زمان تأخیرهای محتمل،[۸و۹] چگونگی تأثیر خاتمه‌ی دیرهنگام پروژه بر کیفیت و هزینه‌ی آن،[۱۰و۱۱] و نیز تعیین میزان سهم هر یک از عوامل درگیر در پروژه در وقوع تأخیر در پروژه‌هایی با شرایط متفاوت،[۱۲و۱۳] بررسی شده است.

به دلایل متعددی پیمانکار و کارفرما درصدد اجتناب از تأخیر پروژه‌ها هستند. در صورتی که پروژه‌یی با تأخیر خاتمه یابد، کارفرما سود حاصل از تولید در دوره‌ی تأخیر را از دست خواهد داد و به دلیل عرضه‌ی دیرهنگام کالای تولیدی به بازار در رقابت با سایر تولیدکنندگان زیان خواهد دید. به علاوه به دلیل تأثیر تورم ناشی از تکمیل دیرهنگام پروژه، وقوع دعاوی از سوی پیمانکار محتمل‌تر خواهد شد.

از سوی دیگر پیمانکار نیز در صورت تأخیر به علت پرداخت جریمه‌ی تأخیر، از دست‌دادن امتیاز اجرای پروژه‌های جدید و افزایش هزینه‌های بالاسری در دوره‌ی تأخیر زیان خواهد دید. پس هر دو طرف به سهم خود خواستار کاهش تأخیر هستند. در صورتی که طرفین پیرامون مسئله‌ی رخداد تأخیر به توافق نرسند، ممکن است کارفرما تصمیم به فسخ یا خاتمه‌ی پیمان گیرد.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۱/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۷/۲۱، پذیرش ۱۳۹۲/۸/۶.

نظریه‌ی بازی‌های تاکنون در پژوهش‌های اندکی در حوزه‌ی مدیریت ساخت وارد شده است. در پژوهشی در سال ۲۰۰۴، با استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها و ارائه‌ی مدلی منحصر به‌فرد به بررسی ادعاهای مالی پیمانکاری که با پیشنهاد فرصت‌طلبانه در مناقصه برنده شد، پرداخته شده است.[۱۴] در پژوهش دیگری نیز به منظور تسهیل فرایند چانه‌زنی پیرامون مدت دوره‌ی بهره‌برداری سرمایه‌گذار در قراردادهای BOT پیشنهاداتی ارائه شده است.[۱۵] همچنین پژوهشگران دیگری (۲۰۱۰) جهت حل منازعات پروژه‌های ساخت بین طرفین درگیر و در فضای غیرقطعی از نظریه‌ی بازی‌های استفاده کرده‌اند.[۱۶] در پژوهش دیگری نیز از نظریه‌ی بازی‌های جهت بررسی، تسهیل شرایط قراردادهای مشارکت بخش خصوصی در منابع عمومی[۱]،[۱۷و۱۸] پروژه‌هایی با هزینه‌ی گزاف پیشنهاد قیمت،[۱۹] انتخاب پیمانکاران جزء،[۲۰] همکاری پیمانکاران جزء جهت تبادل زمان،[۲۱] پرداخت دستمزد عوامل،[۲۲] استفاده شده است.

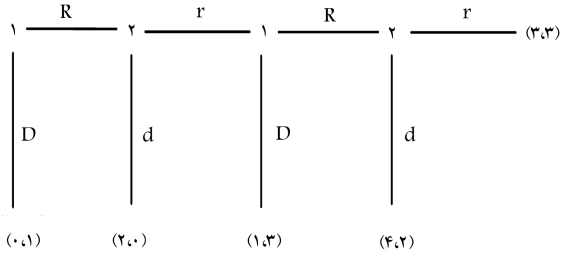
اگرچه پژوهش‌های متعددی تاکنون به بررسی و پیش‌بینی تعارضات در پروژه‌های ساخت،[۲۳-۲۷] و حتی برخی پژوهشگران به بررسی تأخیر رخداده در پروژه‌ها با دید نظریه‌ی بازی‌ها،[۲۸و۲۹] پرداخته‌اند، اما تاکنون در هیچ پژوهشی راهکارهای ممکن در صورت وقوع تأخیر در پروژه‌های ساخت و نحوه‌ی توافق بر سر زمان اتمام در این پروژه‌ها بررسی نشده است. در این پژوهش به کمک نظریه‌ی بازی‌های و با هدف مصالحه بین طرفین درگیر، با یافتن نقطه‌ی تعادلی هزینه‌های تحمیلی به پیمانکار جهت بازگرداندن پروژه به برنامه‌ی مصوب اولیه به نحوی تعدیل می‌شود و طرفین توافق می‌کنند که این هزینه‌ها را حتی‌الامکان برای یکدیگر کاهش دهند.

۲. نظریه‌ی بازی‌ها

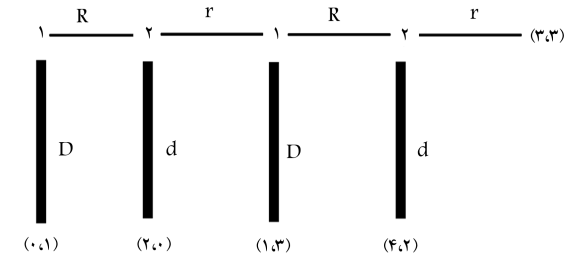
تمامی بازی‌های در ۳ جزء اصلی مشترک‌اند: ۱. بازیکن، ۲. عملکرد[۲]، ۳. ترجیحات[۳]. برای مثال اگر به انتخابات از دید نظریه‌ی بازی‌های نگاه کنیم، بازیکنان عبارت‌اند از: رأی‌دهندگان، عملکرد بازیکنان را می‌توان رأی‌دادن، رأی‌ندادن و یا رأی سفیددادن بر شمرد و ترجیحات بازیکنان نیز این است که هر رأی‌دهنده به چه نامزدی رأی دهد. فرض‌های اساسی این است که انتخاب هر بازیکن با هدف کسب بیشترین سود برای وی است، و نیز تمامی بازیکنان از رفتاری بخردانه پیروی می‌کنند. بخردانه‌بودن[۴] به این معناست که هر بازیگر فقط در پی بیشینه‌کردن سود خود است و می‌داند که چگونه می‌تواند سود خود را بیشینه کند.[۳۰]

۱.۲. بازی‌های پویا

بازی‌های از دید زمان تصمیم‌گیری به دو نوع ایستا و پویا تقسیم می‌شوند. در بازی‌های ایستا، بازیکن بدون اطلاع از تصمیم باقی بازیکنان تصمیم خود را با رعایت مفروضات نظریه‌ی بازی‌ها اخذ می‌کند. در حالی که در بازی‌های پویا، هر انتخاب از سوی بازیکن منجر به عکس‌العملی از سوی دیگر بازیکنان در مرحله‌ی بعد می‌شود. به عبارت دیگر، در بازی‌های پویا، تصمیم‌گیری مجموعه‌ی بازیکنان به شکل دنباله‌یی از تصمیمات پی گرفته می‌شود. به همین دلیل اصولاً این نوع بازی‌ها به‌صورت نمودار درختی و با عنوان شکل گسترده[۵] بیان می‌شوند. با ارائه‌ی مثالی به توضیح مفاهیم پرداخته شده است. با توجه به شکل ۱، بازیکن ۱ در ابتدای بازی می‌تواند گزینه‌ی R و یا D را انتخاب کند که: الف) انتخاب D منجر به سود ۱ برای وی و سود صفر برای بازیکن ۲ می‌شود، و ب) انتخاب R منجر به ایجاد موقعیت برای بازیکن ۲ برای انتخاب از بین گزینه‌های r و یا d توسط بازیکن ۲ می‌شود.



شکل ۱. مثالی از یک بازی پویا به شکل گسترده.



شکل ۲. نقطه‌ی تعادل نش بازی شکل ۱.

با توجه به شکل ۱، در هر مرحله در صورت انجام بازی R و r به ترتیب توسط بازیکن ۱ و ۲ در مرحله‌ی بعد بازی توسط بازیکن مقابل پی گرفته خواهد شد. توجه شود که در این بازی هرکدام از بازیکنان از پیامدهای حاصله از بازی خود و بازیکن مقابل آگاهی کامل دارند. به این نوع از بازی‌ها «بازی با آگاهی کامل» [۶] گفته می‌شود. از سوی دیگر، در این بازی هرکدام از بازیکنان فقط به بیشینه‌کردن منافع خود می‌اندیشند و همکاری بین آنها وجود ندارد. به این نوع بازی‌ها نیز «بدون همکاری» [۷] گفته می‌شود.

۲.۲. پاسخ بازی پویا

برای هر بازی بین هر تعداد بازیکن، همواره دست‌کم یک پاسخ وجود دارد که اگر بازیکنی غیر از آن انتخاب کند، قطعاً نتیجه‌ی بدتری خواهد گرفت. از این پاسخ با عنوان «تعادل نش» [۸] نام برده می‌شود. از آنجا که این نقطه بهترین پاسخ هرکدام از بازیکنان به عملکرد باقی بازیکنان است، تمامی بازیکنان تمایل به حفظ شرایط حاصل از این نقطه را دارند.

به منظور یافتن نقطه‌ی تعادل نش در یک بازی پویا روش «استنتاج معکوس»[۹] و مفهوم «تعادل نش ـ زیر بازی کامل» [۱۰] که اولین بار توسط رینهارد سلتن مطرح شده است، به کار برده می‌شود.[۳۰] در این روش با حل پایین‌ترین زیر بازی و سپس حرکت به جهت عکس اجرای بازی، نقطه‌ی تعادل نش کل بازی مشخص می‌شود. به ازاء پایین‌ترین زیر بازی در شکل ۲، در صورتی که بازیکن ۲، r را انتخاب کند ۳ واحد و اگر d را انتخاب کند، ۴ واحد کسب می‌کند. پس انتخاب r در این زیر بازی، غیر محتمل[۱۱] است. به این ترتیب با بیشینه‌کردن سود هر بازیکن با حرکت به عکس بازی، بازیکن ۱ در ابتدای بازی باید D را انتخاب کند.

۳.۲. چانه‌زنی

یکی از مباحث مهم نظریه‌ی بازی‌ها، مسئله‌ی چانه‌زنی است. در واقع چانه‌زنی به موقعیتی اطلاق می‌شود که هرکدام از بازیکنان در صورت توافق پیامدهای بیشتری کسب خواهند کرد، اما به دلیل تضاد منافعشان بر سر چگونگی همکاری اختلاف

دارند.[۳۱] در پروژه‌های ساخت نیز موارد متعددی از چانه‌زنی را می‌توان نام برد. در گذشته پژوهشگرانی به کاربردهای نظریه‌ی بازی‌های و نیز چانه‌زنی در این شاخه پرداخته‌اند.[۱۵] یکی از این موارد، کاربرد پروژه‌های مواجه با تأخیر است. قواعد اساسی، که در چانه‌زنی بازیکنان از آن تبعیت می‌کنند، عبارت‌اند از: رفتار بخردانه، پیامد چانه‌زنی، هزینه‌ی چانه‌زنی، ارزش زمان (عامل تنزیل[۱۲]).[۱۵]

مدل‌های تحلیلی مختلفی تاکنون به بررسی فرایند چانه‌زنی پرداخته‌اند. نش ثابت کرد که پاسخ حاصل از رابطه‌ی ۱، راه حل بی‌همتایی برای چانه‌زنی بین دو بازیکن است:[۳۲]

$$\Omega = \max_{f,d}(f_1 - d_1).(f_2 - d_2) \qquad (۱)$$

که در آن، f_1 و f_2 به ترتیب مطلوبیت ایجادشده در هر مرحله از چانه‌زنی برای بازیگران ۱ و ۲، و d_1 و d_2 به ترتیب بدترین پیامد ممکن در چانه‌زنی برای بازیگران ۱ و ۲ است.

در پژوهش دیگری نیز برای حالتی که قدرت چانه‌زنی بازیکنان (w) متفاوت باشد، رابطه‌ی ۲ ارائه شده است:[۳۳]

$$z = \prod_{i=1}^{n}(f_i - d_i)^{w_i} \qquad (۲)$$

که در آن، w_i، f_i و d_i به ترتیب قدرت چانه‌زنی، مطلوبیت ایجادشده در هر مرحله از چانه‌زنی و بدترین پیامد ممکن در چانه‌زنی برای بازیگر i است.

پژوهشگران دیگری نیز معتقد بودند که راه حل چانه‌زنی در محل تقاطع خط واصل نقاط عدم توافق و ایده‌آل با مرز مؤثر (پاراتویی) قرار دارد. به همین منظور آنها رابطه‌ی ۳ را پیشنهاد کردند که سطوح بلند پروازی بازیگران را نیز در نظر بگیرد:[۳۴]

$$\frac{f_1 - d_1}{s_1 - d_1} = \frac{f_2 - d_2}{s_2 - d_2} \qquad (۳)$$

که در آن، f_1، f_2، d_1 و d_2 همانند رابطه‌ی ۱ و s_1 و s_2 به ترتیب پیامد ایده‌آل برای بازیگر i است.

۳. مدل ریاضی پروژه‌های مواجه با تأخیر براساس نظریه‌ی بازی‌ها

در این پژوهش برای بررسی موضوع رخداد تأخیر در پروژه‌های عمرانی و به کمک نظریه‌ی بازی‌های مدلی تحلیلی ارائه شده است که با تکیه بر تجربیات واقعی به مطالعه‌ی چالش طرفین درگیر در پروژه‌های عمرانی پرداخته است. از این پس این مدل را با نام «بازی پروژه‌های مواجه با تأخیر» خواهیم شناخت. درادامه، ابتدا درخت بازی ذکرشده (شکل گسترده) بیان شده است، و در مرحله‌ی بعد پیشنهادهایی به جهت حصول سریع‌تر توافق برای رفع مشکل تأخیر پروژه‌ها ارائه شده است. به این منظور نویسندگان، با رویکردی استقرایی ـ کمّی و در محیطی کتابخانه‌یی ـ میدانی و از طریق گردآوری داده‌هایی از اسناد و مدارک موجود در قالب پژوهشی کاربردی ـ تأییدی به پژوهش پرداخته‌اند.[۳۵] از این رو، پس از درک معضلی پرکاربرد و نیز مطالعه‌ی پژوهش‌های انجام‌شده در مراجع، با استفاده از نظریه‌ی بازی‌های راه حلی طرح و نتایجی با حل مطالعه‌ی موردی حاصل شده است.

۱.۳. تعریف شکل گسترده‌ی بازی

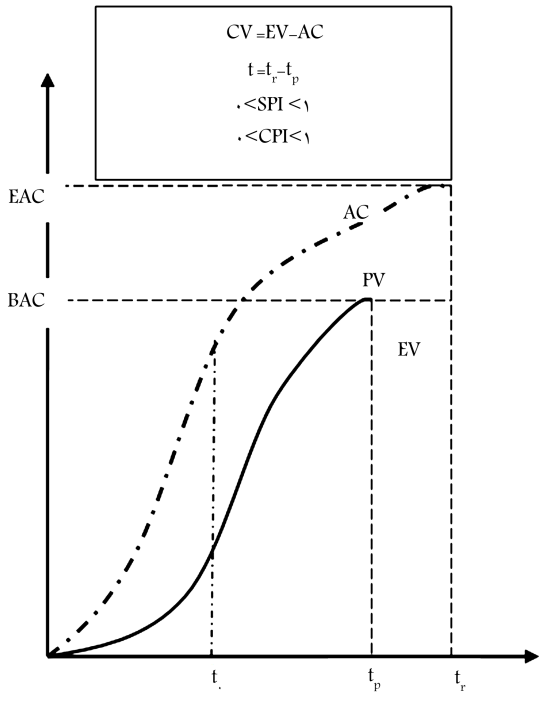
فرض می‌کنیم که پروژه‌یی با بودجه‌ی اولیه و مصوب BAC و تاریخ اتمام tp در زمان صفر شروع شده است و در تاریخ t_0 با بررسی درصدهای پیشرفت و ارزش کسب‌شده‌ی هر فعالیت پروژه مشخص می‌شود که نه فقط پروژه با تأخیر در تاریخ t_r تکمیل می‌شود، بلکه هزینه‌ی اتمام پروژه نیز افزایش یافته است (EAC)(شکل ۳). از سوی دیگر، با مدیریت صحیح و افزایش بازدهی و منابع (کارکنان و ماشین‌آلات) پیمانکار توانایی جبران تمام یا بخشی از مدت تأخیر پیش‌بینی‌شده را دارد. قابل ذکر است که تعدیل پیمان در صورت شمول قابل صرف‌نظرکردن است.

در شکل ۴، بازی پروژه‌های مواجه با تأخیر ارائه شده است، که O و B به ترتیب نماد کارفرما و پیمانکار است.

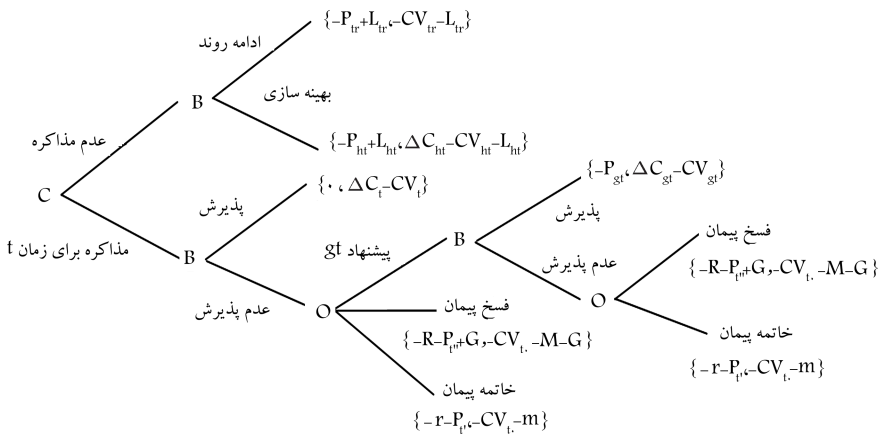
الف) بازی از تاریخ t_0 و توسط کارفرما شروع می‌شود (ابتدای بازی ـ منتهی‌الیه چپ شکل ۴)، استراتژی‌های کارفرما در این مرحله درخواست وی از پیمانکار برای جبران کل مدت زمان تأخیر رخداده (t)(شاخه‌ی مذاکره برای زمان t در شکل ۴) و یا عدم مذاکره (شاخه‌ی عدم مذاکره در شکل ۴) به این منظور خواهد بود.

در صورتی که کارفرما جهت رفع مشکل تأخیر، پیشنهاد مذاکره‌یی به پیمانکار ارائه نکند، ممکن است پروژه به همان روال ادامه یابد (شاخه‌ی ادامه‌ی روند در شکل ۴)، یا اینکه پیمانکار شخصاً به دلیل کاهش هزینه‌های بالاسری خود جهت بهینه‌سازی اقدام کند (شاخه‌ی بهینه‌سازی در شکل ۴). پیامد کارفرما در صورتی که پروژه به همان روال و با تأخیر در t_r تکمیل شود (شاخه‌ی ادامه‌ی روند در شکل ۴) عبارت است از:

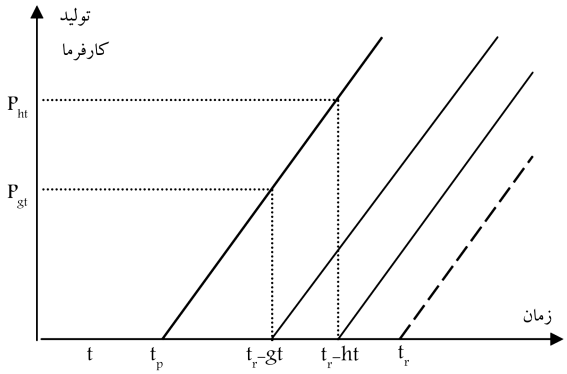
۱. محروم‌ماندن از سود حاصل از تولید در صورت بهره‌برداری به موقع از پروژه خواهد بود (که آن را P_{tr} می‌نامیم). در شکل ۵، تولید کارفرما در مقابل زمان نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار هزینه ـ زمان در پروژه‌یی مواجه با تأخیر.



شکل ۴. درخت بازی پروژه‌های مواجه با تأخیر.



شکل ۵. نمودار تولید کارفرما ـ زمان در پروژه‌یی که با تأخیر مواجه است.

۲. جریمه‌یی که پیمانکار باید به دلیل تأخیر به مدت t نسبت به تاریخ اتمام مصوب t_p به کارفرما بپردازد (که آن را L_{tr} می‌نامیم).

از سوی دیگر پیامد پیمانکار به دلیل این تصمیم کارفرما به این صورت است:

۱. پرداخت جریمه (L_{tr}).

۲. افزایش هزینه‌های اتمام پروژه تا t_r (CV_{tr}). فرض منطقی این است که هزینه‌ی CV ناشی از بازدهی نازل پیمانکار و یا ارزیابی غیردقیق فعالیت‌هاست، به بیانی دیگر، هزینه‌ی CV پیامدی برای کارفرما به دنبال نخواهد داشت و پیمانکار خود تصمیم می‌گیرد که با بهره‌گیری از راهکارهای متفاوت و تغییر رویکردهای مدیریتی در جهت کاهش هزینه‌ی مذکور برآید. پس پیامد حاصل از تصمیم کارفرما جهت عدم مذاکره برای طرفین $\{-P_{tr}+L_{tr}, -CV_{tr}-L_{tr}\}$ خواهد بود.

از سوی دیگر، ممکن است پیمانکار شخصاً به منظور کاهش هزینه‌های بالاسری خود و به مدت $h.t$ تأخیر را جبران کند (شاخه‌ی بهینه‌سازی در شکل ۴) $(۰ < h < ۱)$. در این صورت کارفرما از تولید خود به میزان P_{ht} باز می‌ماند و به همین دلیل وی جریمه‌ی تأخیر (L_{ht}) را از پیمانکار مطالبه می‌کند. پیمانکار نیز باید به منظور جبران تأخیر مذکور، هزینه‌ی ΔC_{ht} را متحمل شود و نیز افزایش هزینه‌های اتمام پروژه (CV_{ht}) را پیمانکار باید پرداخت کند. پس پیامد حاصل از تصمیم پیمانکار جهت بهینه‌سازی مدت زمان آن و بدون خواست درخواست کارفرما برای طرفین بازی (پیمانکار و کارفرما) $\{-P_{ht}+L_{ht}, \Delta C_{ht}-CV_{ht}-L_{ht}\}$ خواهد بود.

ب) در صورتی که کارفرما خواستار جبران کل زمان تأخیر t از سوی پیمانکار باشد (شاخه‌ی مذاکره برای زمان t در شکل ۴)، تصمیم بعدی مبنی بر پذیرش یا عدم پذیرش این خواسته باید از سوی پیمانکار اخذ شود. پیامدهای ناشی از پذیرش رفع تأخیر t برای پیمانکار (انتخاب پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴) عبارت‌اند از:

۱. تحمل هزینه‌ی CV_t،

۲. هزینه‌ی کوتاه‌کردن مدت فعالیت‌های باقیمانده از پروژه تا مجموع t (ΔC_t).

از سوی دیگر تصمیم مذکور، پیامدی معادل صفر برای کارفرما خواهد داشت؛ پس پیامد حاصل از تصمیم پذیرش رفع کل تأخیر (انتخاب پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴) برای طرفین $\{۰, \Delta C_t - CV_t\}$ خواهد بود. فرض شده است که در صورت توافق طرفین جهت رفع تأخیر، کارفرما از جریمه‌ی تأخیر، در صورت محقق‌شدن تا زمان مورد توافق، چشم‌پوشی خواهد کرد.

ج) عدم پذیرش رفع کل تأخیر t از سوی پیمانکار (انتخاب عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴) نیز کارفرما را در موضع تصمیم‌گیری قرار خواهد داد. گزینه‌هایی که کارفرما باید از بین آنها انتخاب کند عبارت‌اند از:

۱. توافق برای جبران بخشی از تأخیر t (انتخاب پیشنهاد gt ـ عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴)،

۲. فسخ پیمان (انتخاب فسخ پیمان ـ عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴)،

۳. خاتمه‌ی پیمان (انتخاب خاتمه‌ی پیمان ـ عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴).

در واقع کارفرما در این مرحله تصمیم می‌گیرد که آیا پیمان با هر میزان تأخیری که مشخص خواهد شد، ادامه، فسخ و یا خاتمه یابد. به منظور حصول توافق برای جبران بخشی از تأخیر، در این مرحله کارفرما پیشنهاد می‌کند که پیمانکار مدت زمان $g.t$ از تأخیر را جبران کند (انتخاب پیشنهاد gt ـ عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴)، به صورتی که $۰ < g < ۱$.

در صورتی که پیمانکار با رفع بخشی از تأخیر به میزان $g.t$ توافق کنند، پیامدهای وی عبارت خواهند بود از:

۱. تحمل هزینه‌ی CV_{gt}.

۲. هزینه‌ی کوتاه‌کردن فعالیت‌های باقیمانده از پروژه تا مجموع $g.t$ (ΔC_{gt}).

پیامد کارفرما به ازاء این تصمیم پیمانکار نیز عبارت است از محروم‌ماندن کارفرما از سود حاصل از تولید از t_p تا t_e (P_{gt}). پس پیامد حاصل از این تصمیم کارفرما برای طرفین (پیمانکار و کارفرما) $\{-P_{gt}, \Delta C_{gt} - CV_{gt}\}$ خواهد بود.

د) در صورت رخداد خاتمه‌ی پیمان (انتخاب خاتمه‌ی پیمان ـ عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴)، کارفرما از سود حاصل از تولید تا زمان بهره‌برداری کامل پروژه (به مدت t') محروم خواهد بود $(P_{t'})$. به علاوه کارفرما باید نسبت به برگزاری مناقصه‌یی به منظور انتخاب پیمانکاری جهت تکمیل پروژه اقدام کند و نیز تصمیم وی مبنی بر خاتمه‌ی پیمان هزینه‌های حیثیتی چون تضییع وجهه کارفرما به دلیل عدم توانایی در پیشبرد اهداف و اتمام به موقع پروژه و همچنین تضعیف موضع وی در قبال سایر پیمانکاران خواهد داشت. مجموع هزینه‌های برگزاری مناقصه و هزینه‌های حیثیتی را r در نظر می‌گیریم. از زاویه‌ی دید پیمانکار، رخداد خاتمه‌ی پیمان منجر به خدشه‌دار شدن به وجهه پیمانکار از نظر کارفرما خواهد شد، هزینه‌یی که به این دلیل به پیمانکار وارد می‌شود را m می‌نامیم. توجه شود که به دلیل مدیریت نادرست و بهره‌وری پایین پیمانکار، وی هزینه‌ی $CV_{t.}$ را نیز متحمل شده است. در نتیجه پیامد حاصل از خاتمه‌ی پیمان برای طرفین (پیمانکار و کارفرما) به‌صورت $\{-r - P_{t'}, -CV_{t.} - m\}$ خواهد بود.

و) در صورتی که کارفرما تصمیم به فسخ پیمان بگیرد (انتخاب فسخ پیمان ـ عدم پذیرش ـ مذاکره برای زمان t در شکل ۴)، او از سود حاصل از تولید تا زمان بهره‌برداری کامل پروژه (به مدت t'') محروم خواهد بود $(P_{t''})$، ضمانت‌نامه‌های بانکی مرتبط با پیمان (G) به نفع کارفرما ضبط خواهد شد و در صورت عدم مصالحه، پرونده‌ی دادرسی وضعیت فعالیت‌های پروژه، که برای طرفین هزینه‌زا خواهد بود، به جریان خواهد افتاد. مبلغ R، که در درخت بازی به‌عنوان بخشی از پیامد کارفرما در صورت رخداد فسخ پیمان آورده شده است، عبارت است از مجموع هزینه‌های دادرسی وارد به کارفرما و برگزاری دوباره‌ی مناقصه به علاوه‌ی هزینه‌های حیثیتی. پیمانکار نیز در صورت فسخ هزینه‌های M و CV و ضبط مبلغ G را متحمل شده است. مبلغ M در این جا عبارت از مجموع هزینه‌هایی است که به پیمانکار در صورت فسخ پیمان و به دلیل اعاده‌ی دادرسی و تضییع روابطش با کارفرما وارد خواهد شد. در نتیجه پیامد حاصل از فسخ پیمان برای طرفین بازی (پیمانکار و کارفرما) $\{-R - P_{t''} + G, -CV_{t.} - M - G\}$ خواهد بود. توجه شود که پیامدهای تصمیم کارفرما برای خاتمه و یا فسخ پیمان بدون توجه به اینکه پیش از ارائه‌ی پیشنهاد $g.t$ و یا پس از آن گرفته شود، یکسان خواهد بود.

۲.۳. حالت اول: اگر میزان درصد کاهش تأخیر (g) ثابت فرض شود

تحلیل در ساده‌ترین حالت آغاز می‌شود، یعنی امکان پیشنهاد متقابل g وجود ندارد، عدد g قبل از وقوع مذاکره ثابت است و برای هر دو طرف عددی معلوم است. اگر چه در واقع g می‌تواند متغیر باشد، که آن نیز در حالت مذاکره بررسی خواهد شد. به کمک روش برگشت به عقب مسئله در این ۴ فرم حل می‌شود.

۱.۲.۳. حل ۱.

کارفرما مذاکره می‌کند. پیمانکار جبران کل زمان را نمی‌پذیرد، کارفرما پیشنهاد gt را می‌دهد، پیمانکار قبول نمی‌کند، کارفرما به پیمان خاتمه می‌دهد.

می‌دانیم که در صورت فسخ زمان، اتمام پروژه بسیار به تعویق خواهد افتاد و در شرایط مساوی کارفرمایان به دلیل هزینه‌های بعدی از قبیل دادرسی، تضییع روابط با سایر پیمانکاران و غیره مایل به فسخ پیمان نیستند، پس معمولاً روابط ۴ برقرار است:

$$\begin{aligned} & R\rangle r, \qquad P_{t''}\rangle\rangle P_{t'} \\ & -R - P_{t''} + G\langle -r - P_{t'} \end{aligned} \tag{۴}$$

درگام قبل از آن پیمانکار می‌داند در صورت رد پیشنهاد کارفرما، وی خاتمه‌ی پیمان را انتخاب خواهد کرد. لذا باید این شرط (رابطه‌ی ۵) برقرار باشد تا پیمانکار ضمن آگاهی از مقدار g عدم پذیرش را انتخاب کند:

$$\begin{aligned} & CV_{t.} + m\langle -\Delta C_{gt} + CV_{gt} \\ & m\langle -\Delta C_{gt} + CV_{gt} - CV_{t.} \end{aligned} \tag{۵}$$

مفهوم رابطه‌ی ۵ آن است که هزینه‌های تضییع روابط با کارفرما برای پیمانکار کمتر از هزینه‌های جبران زمان پیشنهادی کارفرماست. یا به عبارت دیگر، پیمانکار به این نتیجه رسیده است که ادامه‌ی پروژه مطابق پیشنهاد زمانی کارفرما پرهزینه‌تر از خاتمه‌ی آن است.

از طرف دیگر بین پیامدهای کارفرما رابطه‌ی ۶ برقرار است:

$$\begin{aligned} & -r - P_{t'}\rangle - P_{ht} + L_{ht} \\ & P_{t'}\langle P_{ht} - r - L_{ht} \\ & P_{t'}\langle\langle P_{ht} \end{aligned} \tag{۶}$$

رابطه‌ی ۶، بیان‌کننده‌ی بزرگی هزینه‌یی است که کارفرما برای اتمام پروژه در این حالت و با همین پیمانکار می‌پردازد، به نحوی که هزینه و زمان، بسیار بیشتر و طولانی‌تر از خاتمه‌ی پیمان و جایگزینی پیمانکار جدید است. البته این تذکر لازم است که فسخ پیمان نیز می‌تواند تعادل باشد، مشروط بر آنکه یکی از شرایط ذکرشده برای فسخ در شرایط عمومی پیمان موردنظر رخ دهد و رابطه‌ی ۷ نیز برقرار باشد:

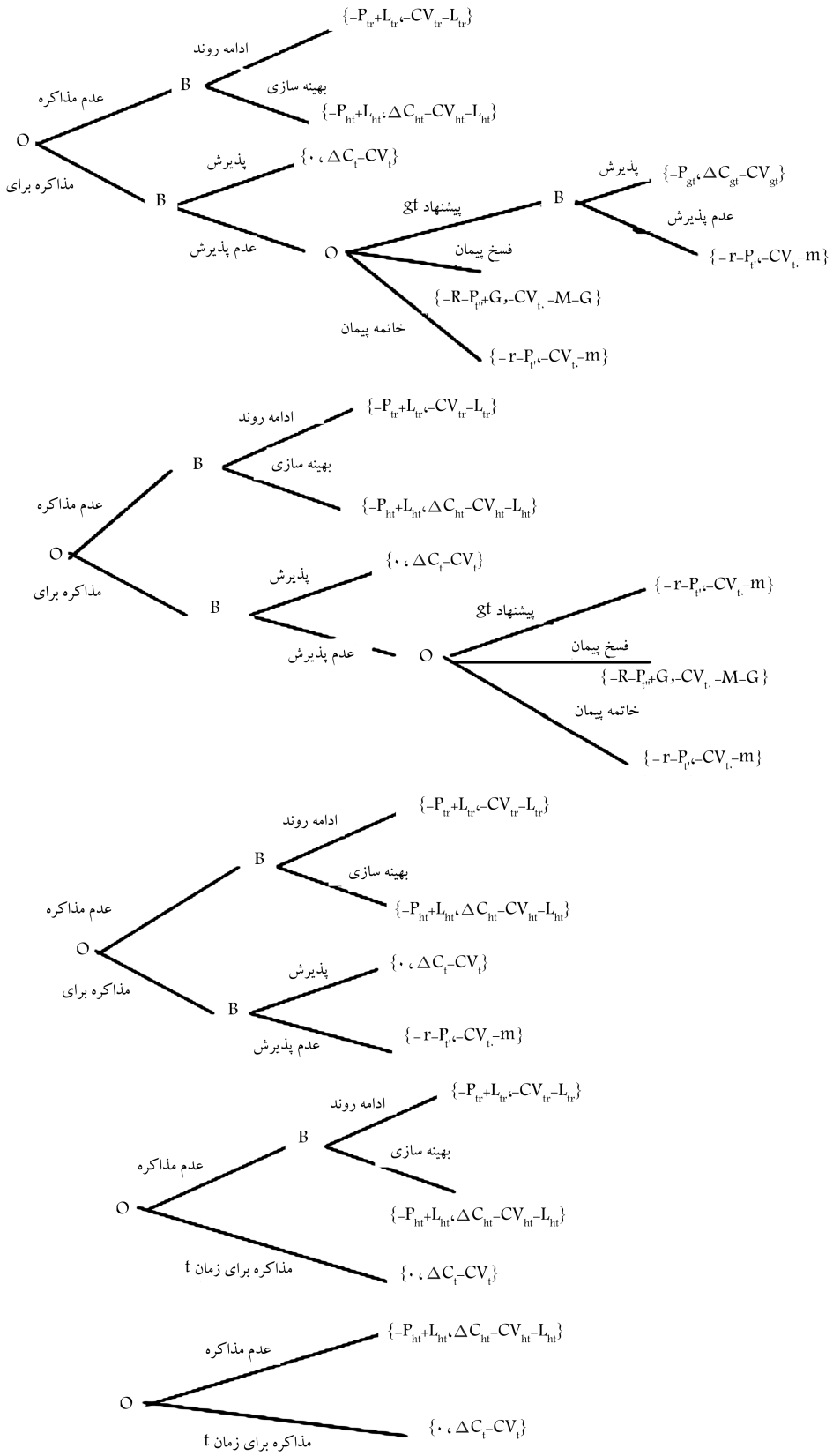
$$\begin{aligned} & -R - P_{t''} + G\rangle - r - P_{t'} \\ & r\rangle P_{t''} - P_{t'} - G + R \end{aligned} \tag{۷}$$

رابطه‌ی ۷، توصیف‌کننده‌ی افزایش بسیار هزینه‌های حیثیتی کارفرما در صورت خاتمه‌ی پیمان پروژه‌یی با شرایط ذکرشده است. چنین هزینه‌های حیثیتی بزرگی برای خاتمه‌ی پیمان یک پروژه می‌تواند ناشی از این عوامل باشد:

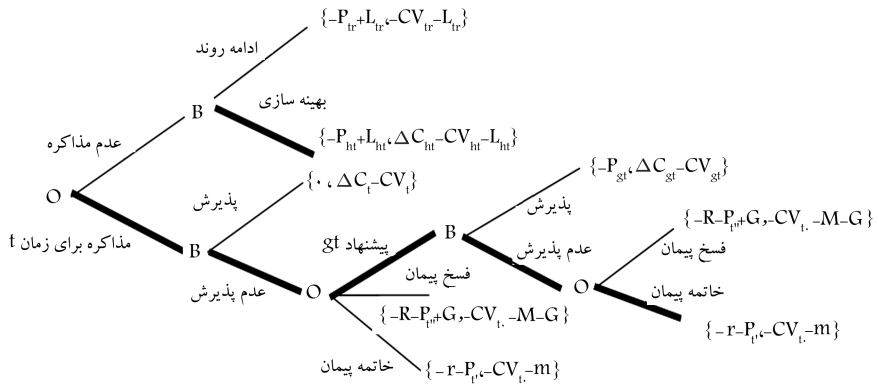
۱. تضییع وجهه کارفرما در مقابل سایر پیمانکاران،

۲. از دست‌دادن امکان جبران بخشی از هزینه‌های تعمیر و نگهداری آتی به دلیل کیفیت نازل اجرای پیمانکار.

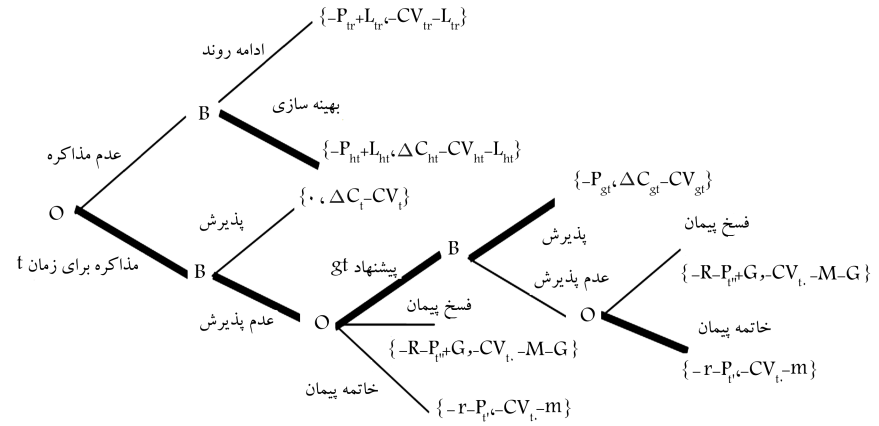
رخداد چنین حالتی در پروژه‌ها بسیار نادر است، اما در شرایط خاص امکان وقوع دارد. مراحل حل و حل نهایی برای حل ۱- حالت اول به روش SPNE در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.



شکل ۶. مراحل استنتاج معکوس (SPNE) برای حل ۱- حالت اول.



شکل ۷. درخت بازی حل -۱ حالت اول.



شکل ۸. درخت بازی حل ۲- حالت اول.

۲.۲.۳. حل ۲.

کارفرما مذاکره می‌کند. پیمانکار جبران کل زمان را نمی‌پذیرد، کارفرما پیشنهاد gt را می‌دهد، پیمانکار قبول می‌کند.

در این حل پیمانکار می‌داند در صورت رد پیشنهاد کارفرما، وی خاتمه‌ی پیمان را انتخاب خواهد کرد. لذا باید این شرط (رابطه‌ی ۸) برقرار باشد تا پیمانکار ضمن آگاهی از مقدار g عدم پذیرش را انتخاب کند:

$$-CV_{t.} - m\langle \Delta C_{gt} - CV_{gt}$$
$$m\rangle - \Delta C_{gt} + CV_{gt} - CV_{t.} \qquad (۸)$$

مفهوم رابطه‌ی ۸ آن است که هزینه‌های تضییع روابط با کارفرما برای پیمانکار زیاد است. یا به عبارت دیگر، پیمانکار حاضر است به خاطر عدم تضییع روابط با کارفرما هزینه‌های خود را تا حد تأمین نظر کارفرما افزایش افزایش دهد (رابطه‌ی ۹):

$$-P_{gt}\rangle - P_{ht} + L_{ht}$$
$$L_{ht}\langle P_{ht} - P_{gt} \qquad (۹)$$

رابطه‌ی ۹، توضیح می‌دهد جریمه‌ی تأخیری که کارفرما از پیمانکار می‌تواند وصول کند، کمتر از تولید متناظر بازه‌ی زمانی موردنظر کارفرماست و اگر این جریمه‌ی تأخیر بیشتر بود، کارفرما علاقه‌یی به توافق بر سر زمان gt نداشت. حل نهایی برای حل ۲- حالت اول به روش SPNE در شکل ۸ ارائه شده است.

۳.۲.۳. حل ۳.

کارفرما مذاکره می‌کند. پیمانکار جبران کل زمان را می‌پذیرد. پیمانکار می‌داند شرایط پروژه در این حل به گونه‌یی است که در صورت عدم توافق در مذاکره پیرامون کل زمان t، کارفرما در گام بعد فسخ و یا خاتمه‌ی پیمان را انتخاب خواهد کرد:

$$-CV_{t.} - m\langle \Delta C_t - CV_t$$
$$m\rangle - \Delta C_t + CV_t - CV_{t.} \qquad (۱۰)$$

مفهوم رابطه‌ی ۱۰ آن است که هزینه‌های تضییع روابط با کارفرما برای پیمانکار بسیار گزاف است. یا به عبارت دیگر، پیمانکار حاضر است به خاطر عدم تضییع روابط با کارفرما هزینه‌های خود را بسیار افزایش دهد، تا حدی که کل زمان تأخیر به‌وجودآمده یا تمام زمان ممکن را جبران کند. از طرف دیگر، باید رابطه‌ی ۱۱ نیز برقرار باشد تا کارفرما گزینه‌ی بهینه‌سازی پیمانکار را نپذیرد:

$$-P_{ht} + L_{ht}\langle ۰$$
$$L_{ht}\langle P_{ht} \qquad (۱۱)$$

رابطه‌ی ۱۱ به این معنی است که جریمه‌ی تأخیر پیمانکار کمتر از تولیدی است که کارفرما در صورت تحویل پروژه در زمان موردنظر پیمانکار (ht)می‌تواند به آن دست یابد. حل نهایی برای حل ۳- حالت اول به روش SPNE در شکل ۹ ارائه شده است.

۴.۲.۳. حل ۴.

کارفرما مذاکره نمی‌کند. پیمانکار برای کم‌کردن هزینه‌های خود به میزان ht زمان را جبران می‌کند.

کارفرما می‌داند در صورت ورود به مذاکره برای زمان gt، پیمانکار جریمه‌ی تأخیر را در صورت جبران زمان gt پرداخت نخواهد کرد (رابطه‌ی ۱۲):

$$CV_{t.} + m\rangle - \Delta C_{ht} + CV_{ht} + L_{ht}$$
$$m\rangle - \Delta C_{ht} + CV_{ht} - CV_{t.} + L_{ht} \qquad (۱۲)$$

مشابه قبل در اینجا نیز هزینه‌ی تضییع روابط با کارفرما بسیار زیاد است (رابطه‌ی ۱۳):

$$-P_{ht} + L_{ht}\rangle - P_{gt}$$
$$L_{ht}\rangle P_{ht} - P_{gt} \qquad (۱۳)$$

از ترکیب دو رابطه‌ی ۱۲ و ۱۳، رابطه‌ی ۱۴ را خواهیم داشت:

$$P_{ht} - P_{gt}\langle L_{ht}\langle CV_{t.} + m + \Delta C_{ht} - CV_{ht} \qquad (۱۴)$$

رابطه‌ی ۱۴، توصیف‌کننده‌ی افزایش خیلی زیاد جریمه‌ی تأخیر نسبت به تولید کارفرماست، به طوری که حتی از تولید متناظر وی در بازه‌ی زمانی gt تا ht نیز بیشتر شده است. بنابراین کارفرما علاقه‌یی به پیشنهاد gt برای جبران زمان تأخیر ندارد، و نیز هزینه‌ی تضییع روابط با کارفرما نیز نسبتاً زیاد بوده است. ضمناً ادامه‌ی روند قبلی پروژه نیز می‌تواند در شرایط خاص یک تعادل باشد. بدین شکل که با رعایت شرایط نامعادلات ۱۲ و ۱۳، $h = ۰$ نیز برقرار باشد. حل نهایی برای حل ۴- حالت اول به روش SPNE در شکل ۱۰ ارائه شده است.

۳.۳. حالت دوم: اگر میزان درصد کاهش تأخیر (g) متغیر فرض شود

در این حالت مشابه آنچه واقعاً در پروژه‌ها اتفاق می‌افتد، فرض می‌کنیم امکان چانه‌زنی و رد و بدل پیشنهاد و توافق برای تعیین عدد g وجود دارد. اگر پیامد هر دو بازیکن بیشتر از حالت عدم توافق باشد، بازی به سمت توافق پیش می‌رود، در غیر این صورت امکان توافق وجود ندارد و می‌توان نتیجه گرفت که پیمان به سمت خاتمه‌ی پیمان یا فسخ میل می‌کند. حل نهایی برای حالت دوم به روش SPNE در شکل ۱۱ ارائه شده است.

۱.۳.۳. روند توافق برای تعیین زمان gt

برای توافق جهت تعیین عدد g باید پیامدهای طرفین در حالت توافق بیشتر از هر پیامد دیگری باشد. با ارزیابی گام به گام حالت توافق با فسخ پیمان، خاتمه‌ی پیمان، پذیرش کل زمان t و بهینه‌سازی از سوی پیمانکار مجموعه‌ی جوابی به دست خواهد آمد. چنانچه مجموعه‌ی جوابی حاصل نشد، با مقایسه‌ی پیامد حالات مختلف نقطه‌ی تعادل بازی تعیین می‌شود. در تحلیل مدل در این حالت باید به این نکات توجه داشت:

۱. امکان فسخ پیمان از سوی کارفرما مستلزم تأمین دست‌کم یک شرط از مجموعه شرایط لحاظ‌شده در پیمان حاکم بر پروژه است، که اختیار فسخ پیمان را برای کارفرما فراهم می‌کند. در صورت عدم تأمین دست‌کم یکی از شرایط مذکور، کارفرما حق فسخ پیمان را نخواهد داشت. بنابراین در ارزیابی گام به گام، زوج مرتب پیامدهای طرفین با پیامدهای فسخ پیمان به دلیل ارائه‌ی جواب‌های غیر معتبر، نباید مقایسه شوند.

۲. واضح است که فسخ پیمان برای پیمانکار همیشه پیامد بدتری نسبت به خاتمه‌ی آن خواهد داشت. بنابراین پیمانکار در صورت عدم توافق تلاش می‌کند که هیچ‌یک از شرایط فسخ پیمان موردنظر حادث نشود و در صورت وقوع، کارفرما را ترغیب به خاتمه‌ی پیمان می‌کند.

۳. در اغلب پروژه‌ها پیامد فسخ برای کارفرما بدتر از خاتمه‌ی پیمان است. به همین دلیل کارفرمایان معمولاً علاقمند به فسخ پیمان نیستند. بنابراین فسخ پیمان عموماً یک استراتژی تهدیدآمیز است که کارفرما در صورت عدم توافق پیمانکار به ناچار آن را انتخاب می‌کند. در اینجا با مقایسه‌ی پیامدهای فسخ و خاتمه‌ی پیمان و همچنین ارزیابی ویژگی‌های پروژه و صبر و حوصله‌ی کارفرما، اعتبار تهدید وی برای فسخ مشخص می‌شود. در صورت غیر معتبربودن تهدید، مقایسه‌ی پیامدهای توافق با فسخ نباید انجام شود.

گام اول ـ ارزیابی امکان و اعتبار تهدید فسخ پیمان و تعیین معیار مقایسه.
در این گام با توجه به مطالب پیش‌گفته، با بررسی تأمین شرایط فسخ و ارزیابی معتبر یا غیر معتبربودن تهدید، پیامدی که معیار مقایسه با پیامد حاصل از توافق خواهد بود، مشخص می‌شود.

گام دوم ـ برتری مذاکره بر فسخ یا خاتمه‌ی پیمان.

۱. در صورتی که در گام قبل فسخ پیمان امکان‌پذیر یا معتبر نباشد:
پیامدهای مذاکره بر سر gt بزرگ‌تر از پیامدهای خاتمه‌ی پیمان فرض می‌شود (رابطه‌های ۱۵ و ۱۶):

$$\{-r - P_{t'}, -CV_{t.} - m\}\langle\{-P_{gt}, +\Delta C_{gt} - CV_{gt}\}$$
$$r + P_{t'}\rangle P_{gt} \qquad (۱۵)$$
$$CV_{t.} + m\rangle - \Delta C_{gt} + CV_{gt} \qquad (۱۶)$$

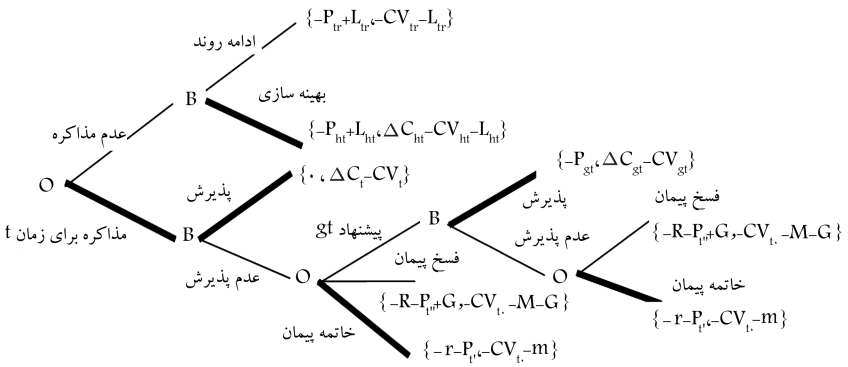
با توجه به رابطه‌های ۱۵ و ۱۶، اگر مجموعه جوابی برای $g_۱$ جهت ارضاء شرایط هر دو معادله وجود داشته باشد، توافق به‌وجود می‌آید؛ در غیر این‌صورت، کارفرما با ارزیابی پیامد خود در خصوص خاتمه‌ی پیمان یا بهینه‌سازی پیمانکار تصمیم‌گیری خواهد کرد (رابطه‌ی ۱۷):

$$g_۱ = \{x : r + P_{t'}\rangle P_{xt} \& CV_{t.} + m\rangle - \Delta C_{xt} + CV_{xt}\} \qquad (۱۷)$$

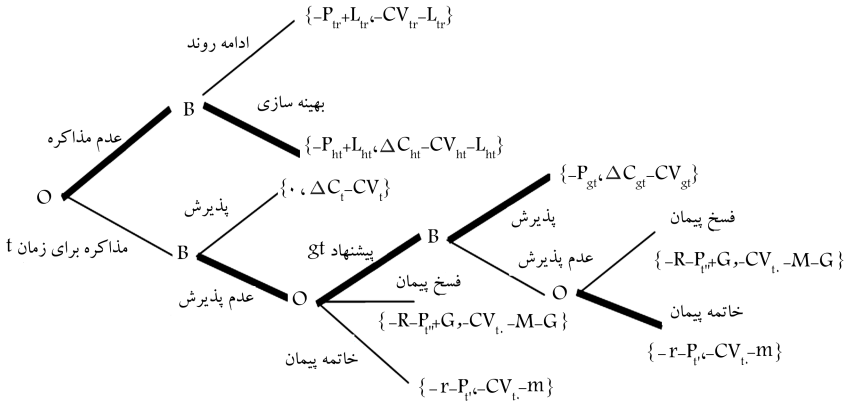
با دقت در معادلات مذکور می‌توان نتیجه گرفت که معمولاً این دو معادله مجموعه‌ی جواب مشترکی دارند، مگر اینکه r و m اعداد بسیارکوچکی باشند یا اینکه هزینه‌های شکستن خیلی زیاد باشد.

۲. چنانچه استراتژی فسخ پیمان امکان‌پذیر و معتبر باشد، روابط ۱۸ و ۱۹ برقرار است:

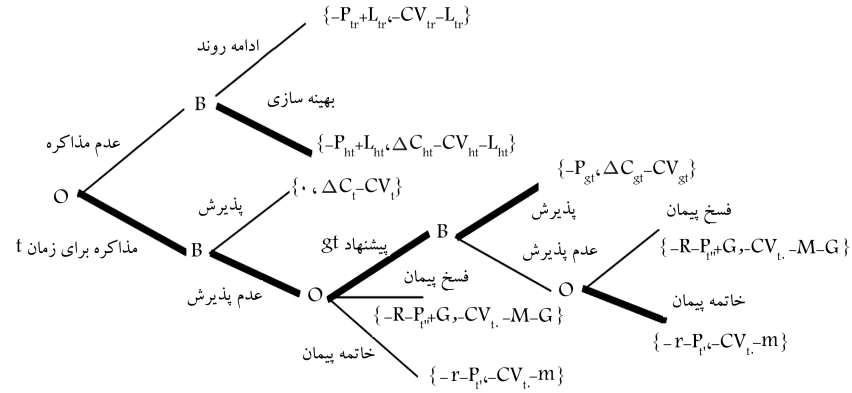
$$\{-R - P_{t''} + G, -CV_{t.} - M - G\}\langle\{-P_{gt}, +\Delta C_{gt} - CV_{gt}\}$$
$$R + P_{t''} - G\rangle P_{gt} \qquad (۱۸)$$
$$CV_{t.} + M + G\rangle - \Delta C_{gt} + CV_{gt} \qquad (۱۹)$$



شکل ۹. درخت بازی حل ۳- حالت اول.



شکل ۱۰. درخت بازی حل ۴- حالت اول.



شکل ۱۱. درخت بازی حل حالت دوم.

با توجه به رابطه‌های ۱۸ و ۱۹، اگر مجموعه جوابی برای g_2 جهت ارضاء شرایط هر دو معادله وجود داشته باشد، توافق به‌وجود می‌آید. در غیر این‌صورت کارفرما با ارزیابی پیامد خود بین فسخ پیمان و بهینه‌سازی پیمانکار تصمیم‌گیری خواهد کرد. ملاحظه می‌شود مجموعه جواب حاصل از مقایسه با پیامدهای فسخ بزرگ‌تر و گسترده‌تر است و پیمانکار نیز حاضر است gهای بزرگ‌تری را انتخاب کند (رابطه‌ی ۲۰):

$$g_2 = \{x : R + P_{t''} - G > P_{xt} \text{ و } CV_{t.} + M + G > -\Delta C_{xt} + CV_{xt}\} \quad (20)$$

گام سوم ـ مقایسه‌ی توافق بر سر gt با جبران کل زمان t.

چنانچه در گام دوم مجموعه‌ی جوابی برای g وجود داشته باشد، فسخ و خاتمه‌ی پیمان برای کارفرما نسبت به جبران تأخیرات به میزان gt پیامد بهتری به دنبال نخواهد

داشت و فسخ و خاتمه‌ی پیمان، تهدیدها غیرمعتبر خواهد بود. بنابراین پیمانکار با عدم پذیرش جبران کل زمان t کارفرما را وادار به مذاکره می‌کند (رابطه‌های ۲۱ الی ۲۳):

$$\{-P_{ht}+L_{ht},+\Delta C_{ht}-CV_{ht}-L_{ht}\}\langle\{-P_{gt},+\Delta C_{gt}-CV_{gt}\}$$
$$-P_{ht}+L_{ht}\langle -P_{gt}$$
$$L_{ht}\langle P_{ht}-P_{gt} \qquad (۲۱)$$
$$+\Delta C_{ht}-CV_{ht}-L_{ht}\langle +\Delta C_{gt}-CV_{gt}$$
$$L_{ht}\rangle -\Delta C_{gt}+CV_{gt}+\Delta C_{ht}-CV_{ht} \qquad (۲۲)$$
$$-\Delta C_{gt}+CV_{gt}+\Delta C_{ht}-CV_{ht}\langle L_{ht}\langle P_{ht}-P_{gt} \qquad (۲۳)$$

معادله‌ی ۲۳، بیان‌کننده‌ی محدوده‌ی مؤثر جریمه‌ی تأخیر است، به نحوی که پیمانکار و کارفرما علاقمند به توافق شوند. به این معنا که مقدار جریمه‌ی تأخیر به گونه‌یی باید باشد که ضمن اینکه از اختلاف هزینه‌ی شکستن فعالیت‌های موردنظر پیمانکار ht تا محدوده‌ی توافق gt بیشتر باشد، هم‌زمان از اختلاف تولید کارفرما در همان بازه‌ی زمانی کمتر باشد.

اشتراک مجموعه‌ی جواب گام دوم با مجموعه‌ی جواب رابطه‌ی ۲۳ (در صورت وجود)، مجموعه‌ی جواب نهایی در حالت g متغیر خواهد بود. در غیر این‌صورت با بزرگ یا کوچک بودن بیش از حد، L_{ht} پیمان به سمت خاتمه یا بهینه‌سازی پیمانکار پیش خواهد رفت. اگر جریمه‌ی تأخیر بیش از حد زیاد باشد، پیمانکار به دلیل پیشگیری از جریمه‌ی فوق و با توجه به آگاهی از عدم دسترسی به توافق، از پذیرش هرگونه پیشنهاد کارفرما دست خواهد کشید و کارفرما وادار به انتخاب خاتمه یا فسخ پیمان خواهد بود. از سوی دیگر، اگر جریمه‌ی تأخیر بیش از حد کم باشد، پیمانکار باز هم به دلیل عدم امکان توافق به سراغ بهینه‌سازی پروژه و جبران بخشی از تأخیر به میزانی که کمترین هزینه را متوجه وی کند، خواهد رفت. در این‌صورت کارفرما بین خاتمه‌ی پیمان یا قبول تصمیم پیمانکار یکی را انتخاب خواهد کرد.

۴. مطالعه‌ی موردی

کارفرمای پروژه‌ی «تصفیه و خط انتقال آب بم به کرمان» که قرار بوده است در مدت زمان ۲۴ ماه به بهره‌برداری برسد، ۶ ماه پس از شروع پروژه با کنترل برنامه‌ی زمان‌بندی به این نتیجه رسیده است که پروژه با ۶ ماه تأخیر به بهره‌برداری خواهد رسید. مبلغ اولیه‌ی قرارداد ۱۰۰ میلیارد تومان بوده و پیش‌بینی شده است پروژه برای تکمیل‌شدن به ۳ میلیارد تومان هزینه‌ی اضافی نیاز دارد. پس از بررسی، پیش‌بینی شده است که بیشینه‌ی ۵ ماه از زمان تأخیر قابل جبران است. هزینه‌ی شکستن فعالیت‌ها بر حسب درصد بیشینه‌ی زمان قابل جبران در جدول ۱ ارائه شده است. جریمه‌ی تأخیر ماهانه ۶۰۰ میلیون تومان و سود تولید هر ماه کارفرما ۱/۵ میلیارد تومان است. هزینه‌ی تحمیلی به کارفرما و پیمانکار در صورت فسخ پیمان به ترتیب ۱۲ و ۷/۵ میلیارد تومان است. بیشینه‌ی پیامد منفی پیمانکار ۷/۵ میلیارد تومان بوده است.

۱.۴. تحلیل مثال

با ملاحظه‌ی جدول ۲، که در آن پیامد طرفین به ازاء زمان‌های مختلف قابل جبران محاسبه شده است، مشخص است که زمان‌های جبرانی بالای ۶۰٪، چون بیشتر از

جدول ۱. هزینه‌ی شکستن فعالیت‌ها بر حسب درصد مدت زمان قابل جبران.

مدت زمان (٪)	هزینه‌ی شکستن (میلیارد تومان)
۰	۰
۱۰	۰/۳
۲۰	۰/۷
۳۰	۱/۲
۴۰	۱/۷
۵۰	۲/۷
۶۰	۳/۵
۷۰	۴/۹
۸۰	۶/۰
۹۰	۷/۲
۱۰۰	۸/۵

هزینه‌ی تحمیلی به پیمانکار در صورت فسخ پیمان هستند، غیرممکن است. از سوی دیگر، کمینه‌ی هزینه‌ی پیمانکار برابر ۵/۹۵ میلیارد تومان است. پس وی به‌صورت داوطلبانه نسبت به بهینه‌سازی و جبران تا ۱۰٪ زمان تأخیر اقدام خواهد کرد. حال به کمک راه حل نش ـ هارزانی و کالایی ـ اسموردینسکی به تحلیل مسئله و بررسی توافق طرفین جهت شکستن فعالیت‌ها در بازه‌ی ۱۰ تا ۶۰ درصد از بیشینه‌ی زمان قابل جبران پرداخته شده است.

۲.۴. راه حل نش ـ هارزانی

با تنظیم جدول ۳، پیامد کارفرما و پیمانکار در یک راهبرد نسبتاً پیوسته مشخص خواهد شد. ستون چهارم از جدول ۳ مقدار تابع هدف نش است، که به کمک رابطه‌ی ۲۴ به‌دست آمده است:

$$\Omega=\max_{f,d}(f_1-d_1)^{w_1}.(f_2-d_2)^{w_2} \qquad (۲۴)$$

که در آن عامل تنزیل طرفین مساوی ($w_1=w_2=0/5$) درنظرگرفته شده است. با مشاهده‌ی جدول ۳، بیشینه‌ی تابع هدف در ۲۰٪ زمان رخ داده است. بنابراین توافق کارفرما و پیمانکار با تمدید ۴ ماه حاصل خواهد شد.

۳.۴. واردکردن قدرت چانه‌زنی کارفرما و پیمانکار به کمک راه حل نش ـ هارزانی

در صورتی که قدرت چانه‌زنی کارفرما و پیمانکار در این مسئله به ترتیب ۰/۷ و ۰/۳ در نظرگرفته شود، با تنظیم جدول ۴، پیامد کارفرما و پیمانکار در یک استراتژی نسبتاً پیوسته مشخص خواهد شد. با مشاهده‌ی این جدول بیشینه‌ی تابع هدف در ۳۵٪ زمان رخ داده است. بنابراین توافق کارفرما و پیمانکار با تمدید ۹۸ روز حاصل خواهد شد.

جدول ۲. پیامد کلی پیمانکار و کارفرما به ازاء درصد زمان قابل جبران.

زمان قابل جبران (٪)	هزینه‌ی شکستن (میلیارد تومان)	سود حاصل از تولید کارفرما	جریمه‌ی تأخیر	CV	جمع هزینه‌ی پیمانکار بدون جریمه	جمع کل هزینه‌های پیمانکار	جمع کل هزینه‌های کارفرما
۰	۰	۷٫۵	۳	۳٫۰۰	۳٫۰۰	۶٫۰۰	۴٫۵۰
۱۰	۰٫۳	۶٫۷۵	۲٫۷	۲٫۹۵	۳٫۲۵	۵٫۹۵	۴٫۰۵
۲۰	۰٫۷	۶	۲٫۴	۲٫۹۰	۳٫۶۰	۶٫۰۰	۳٫۶۰
۳۰	۱٫۲	۵٫۲۵	۲٫۱	۲٫۸۵	۴٫۰۵	۶٫۱۵	۳٫۱۵
۴۰	۱٫۷	۴٫۵	۱٫۸	۲٫۸۰	۴٫۵۰	۶٫۳۰	۲٫۷۰
۵۰	۲٫۷	۳٫۷۵	۱٫۵	۲٫۷۵	۵٫۴۵	۶٫۹۵	۲٫۲۵
۶۰	۳٫۵	۳	۱٫۲	۲٫۷۰	۶٫۲۰	۷٫۴۰	۱٫۸۰
۷۰	۴٫۹	۲٫۲۵	۰٫۹	۲٫۶۵	۷٫۵۵	۸٫۴۵	۱٫۳۵
۸۰	۶٫۰	۱٫۵	۰٫۶	۲٫۶۰	۸٫۶۰	۹٫۲۰	۰٫۹۰
۹۰	۷٫۲	۰٫۷۵	۰٫۳	۲٫۵۵	۹٫۷۵	۱۰٫۰۵	۰٫۴۵
۱۰۰	۸٫۵	۰	۰	۲٫۵۰	۱۱٫۰۰	۱۱٫۰۰	۰

جدول ۳. مقدار تابع هدف نش با عامل تنزیل مساوی.

زمان قابل جبران (٪)	جمع کل هزینه‌های پیمانکار	جمع کل هزینه‌های کارفرما	مقدار تابع هدف نش
۱۰	۵٫۹۵	۴٫۰۵	۱۲٫۳۲
۲۰	۶٫۰۰	۳٫۶۰	**۱۲٫۶۰**
۳۰	۶٫۱۵	۳٫۱۵	۱۱٫۹۵
۴۰	۶٫۳۰	۲٫۷۰	۱۱٫۱۶
۵۰	۶٫۹۵	۲٫۲۵	۵٫۳۶
۶۰	۷٫۴۰	۱٫۸۰	۱٫۰۲

جدول ۴. مقدار تابع هدف نش با قدرت چانه‌زنی متفاوت طرفین.

زمان قابل جبران (٪)	جمع هزینه‌های پیمانکار	جمع هزینه‌های کارفرما	مقدار تابع هدف نش ـ هارزانی
۱۰	۵٫۹۵	۴٫۰۵	۴٫۸۷
۲۰	۶٫۰۰	۳٫۶۰	۵٫۰۱
۳۰	۶٫۱۵	۳٫۱۵	**۵٫۰۳**
۴۰	۶٫۳۰	۲٫۷۰	**۵٫۰۳**
۵۰	۶٫۹۵	۲٫۲۵	۴٫۱۲
۶۰	۷٫۴۰	۱٫۸۰	۲٫۵۵

۴.۴. راه حل کالایی ـ اسموردینسکی

برای تابع هدف مربوط به راه حل کالایی ـ اسموردینسکی، تفاضل دو طرف تساوی رابطه‌ی ۲۵ در نظر گرفته شده است و پاسخ چانه‌زنی در این راه حل باید برابر صفر شود (رابطه‌ی ۲۵):

$$F(u) = (f_1 - d_1).(t_2 - d_2) - (f_2 - d_2).(t_1 - d_1) \qquad (۲۵)$$

با تنظیم جدول ۵، پیامد کارفرما و پیمانکار در یک راهبرد نسبتاً پیوسته مشخص خواهد شد. ستون چهارم این جدول مقدار تابع هدف کالایی ـ اسموردینسکی است، که به کمک‌ی رابطه‌ی ۲۵ به‌دست آمده است. با مشاهده‌ی این جدول و با میان‌یابی، توافق کارفرما و پیمانکار در ۳۲٪ زمان و با تمدید ۱۰۳ روز حاصل خواهد شد.

جدول ۵. مقدار تابع هدف $F(u)$ رابطه‌ی ۲۵ بر حسب بیشینه‌ی زمان قابل جبران.

زمان قابل جبران (٪)	جمع هزینه‌های پیمانکار	جمع هزینه‌های کارفرما	مقدار تابع هدف کالایی ـ اسموردینسکی
۱۰	۵٫۹۵	۴٫۰۵	۳٫۹۵۲۵
۲۰	۶٫۰۰	۳٫۶۰	۲٫۷۳
۳۰	۶٫۱۵	۳٫۱۵	**۰٫۴۵۷۵**
۴۰	۶٫۳۰	۲٫۷۰	**−۱٫۸۱۵**
۵۰	۶٫۹۵	۲٫۲۵	−۹٫۳۳۷۵
۶۰	۷٫۴۰	۱٫۸۰	−۱۴٫۷۶

۵. روند تصمیم‌گیری

۱.۵. فرضیات

۱. پارامترهای $G, M, m, CV, \ldots$ اعداد غیر منفی و برای طرفین معلوم هستند.

۲. بازیکنان رفتار عقلانی دارند و انتخاب مخاطره‌آمیز نمی‌کنند.

۳. بین اعداد g و h رابطه‌ی $0 < h < g < 1$ برقرار است.

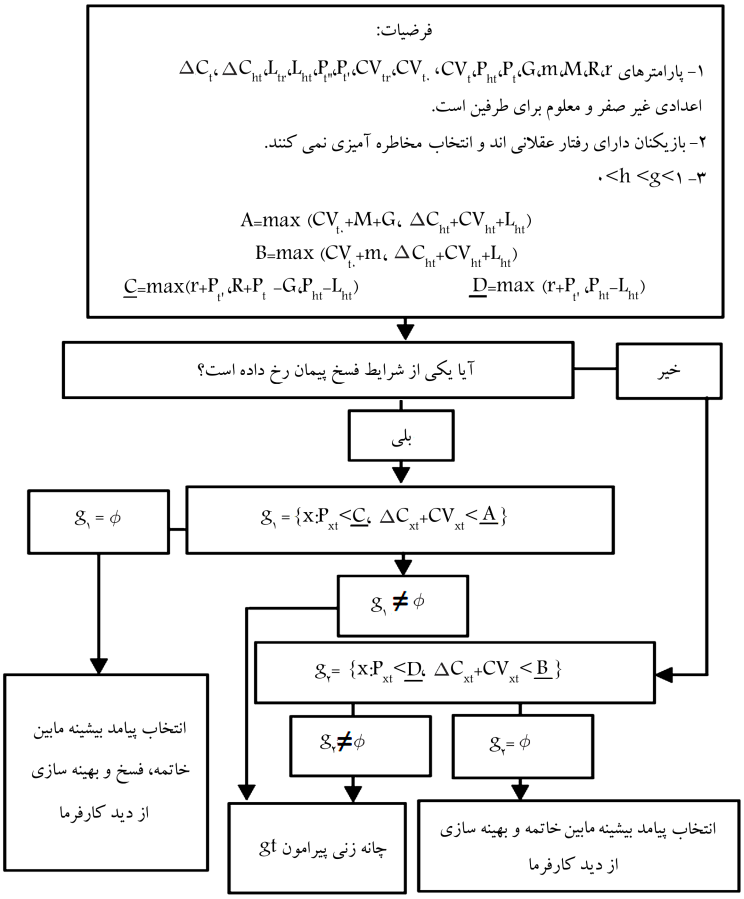
۴. مشکلات مالی (کمبود اعتبار، نقدینگی و منابع) و اختلاف‌نظرهای مالی و شرایط آب و هوایی دلیل تأخیر نیستند.

۲.۵. فرآیند تصمیم

۱. چنانچه دست‌کم یکی از شرایط فسخ رخ داده باشد، بازه‌ی مذاکره به صورت رابطه‌ی ۲۶ قابل بیان است:

$$g_1 = \{x : P_{xt} < \max(r + P_{t'}, R + P_{t''} - G, P_{ht} - L_{ht}), \Delta C_{xt} + CV_{xt} < \max(CV_{t.} + M + G, \Delta C_{ht} + CV_{ht} + L_{ht})\} \qquad (۲۶)$$

اگر مجموعه‌ی g_1 غیرتهی باشد، بازه‌ی مذاکره را مشخص می‌کند؛ در غیر این‌صورت کارفرما بین فسخ، خاتمه‌ی پیمان، و بهینه‌سازی، تصمیمی را که بیشترین پیامد را متوجه وی کند، انتخاب خواهد کرد.



شکل ۱۲. نمودار جریان تصمیم‌گیری برای یک پروژه‌ی مواجه با تأخیر.

۲. اگر شرایط فسخ حادث نشده باشد، توانایی کارفرما در مذاکره کاهش می‌یابد؛ بنابراین بازه‌ی مذاکره، مجموعه‌ی جواب g_2 به‌صورت رابطه‌ی ۲۷ تعیین می‌شود:

$$g_2=\{x: P_{xt}<\max(r+P_{t'}, P_{ht}-L_{ht}), \Delta C_{xt}+CV_{xt} < \max(CV_{t.}+m, \Delta C_{ht}+CV_{ht}+L_{ht})\} \quad (۲۷)$$

اگر مجموعه‌ی g_2 غیرتهی باشد، بازه‌ی مذاکره را مشخص می‌کند؛ در غیر این‌صورت کارفرما بین خاتمه‌ی پیمان و بهینه‌سازی، تصمیمی را که بیشترین پیامد را متوجه وی کند، انتخاب خواهد کرد.

شکل ۱۲، نمودار جریان تصمیم‌گیری برای یک پروژه‌ی مواجه با تأخیر را نشان می‌دهد. به هر حال پس از تعیین بازه‌ی مذاکره به کمک روش‌های پیش‌گفته در مرور بر ادبیات (نش ـ هارزانی، کالایی ـ اسموردینسکی) و تعیین عامل تنزیل و میزان صبر و حوصله‌ی بازیکنان، می‌توان نقطه‌ی دقیق توافق را به‌دست آورد.

۶. استراتژی‌های کارفرما و پیمانکار

براساس مدل ارائه‌شده و تحلیل آن می‌توان راهبردهایی را برای کارفرما و پیمانکار به دو صورت ارائه داد.

۱.۶. راهبردهای کارفرما

مطابق آنچه تاکنون از آنالیز مدل مشخص است، پارامترهای مؤثر برای کارفرما در اعمال نظرش به پیمانکار به این صورت خواهد بود:

- عامل تنزیل کارفرما؛
- هزینه‌ی تضییع روابط؛
- جریمه‌ی تأخیر؛
- هزینه‌ی برگزاری دوباره‌ی مناقصه؛
- هزینه‌های دادرسی؛
- زمان کشف انحراف از برنامه‌ی زمان‌بندی t_0.

۱. هرچه کارفرما بتواند عامل تنزیل خود را کمتر نشان دهد، توانایی چانه‌زنی بالاتری خواهد داشت.

۲. کارفرما هر چقدر سود تولید خود را بیشتر جلوه دهد، پیمانکار را بیشتر به سمت gهای بزرگ و جبران زمان بیشتر متمایل می‌کند.

۳. با افزایش هزینه‌ی تضییع روابط، کارفرما دست بالاتری خواهد داشت. بنابراین خوش‌نام بودن و جریان نقدینگی بالاتر باعث تقویت موضع کارفرماست.

۴. جریمه‌ی تأخیر باید به دقت انتخاب شود تا تأثیرگذار باشد. در صورت عدم تناسب، امکان توافق وجود ندارد؛ ولی در محدوده‌ی مذاکره هر چه بیشتر باشد، کارفرما را صبورتر می‌کند.

۵. کم جلوه‌دادن هزینه‌ی برگزاری دوباره‌ی مناقصه، امکان جایگزینی سریع پیمانکار جدید در صورت فسخ یا خاتمه‌ی پیمان و جذاب‌بودن همکاری با کارفرما برای سایر پیمانکاران می‌تواند در این جهت مؤثر باشد.

۶. استفاده از پیمانکاران بومی و خوش‌نام که سابقه‌ی همکاری قبلی دارند، در پروژه‌هایی با تاریخ اتمام ثابت اهمیت زیادی پیدا می‌کند و ضمن کاهش احتمال بروز تأخیر باعث تقویت قدرت چانه‌زنی کارفرما خواهد شد.

۷. تدوین صحیح و شفاف شرایط خصوصی و عمومی قرارداد، استفاده از وکلای ماهر و خبره و آمادگی داشتن جهت شرایط پیش‌بینی‌نشده و مسائل حقوقی می‌تواند از زیان‌های احتمالی جلوگیری کند.

۸. وجود مشاور یا دفتر فنی کارآمد و استفاده از تیم‌های کنترل پروژه‌ی ورزیده و ماهر، نظارت دقیق و پیوسته در هر یک از مراحل محاسبات حجم و زمان فعالیت‌ها، تدوین و تصویب برنامه‌ی زمان‌بندی پروژه، کنترل برنامه‌ی زمان‌بندی، ارتباطات نزدیک با پیمانکار و تعیین انحراف احتمالی باعث کشف هر چه سریع‌تر این انحراف می‌شود و نتیجه‌ی آن پیشگیری از افزایش انحراف و زیان دیدن کمتر طرفین خواهد بود.

۹. اعتباربخشیدن به تهدید فسخ و نشان‌دادن قاطعیت در تصمیم باعث تقویت موضع کارفرماست.

۲.۶. راهبردهای پیمانکار

با توجه به مدل و مطالب پیش‌گفته‌ی پارامترهای اثربخش برای پیمانکار چنین است:

- عامل تنزیل پیمانکار؛
- هزینه‌ی تضییع روابط با کارفرما؛
- جریمه‌ی تأخیر؛
- CV؛
- هزینه‌های دادرسی؛
- پیشگیری از تأمین دلیل فسخ؛
- زمان کشف انحراف از برنامه‌ی زمان‌بندی t_0.

۱. صبور جلوه‌دادن خود و عامل تنزیل کمتر باعث افزایش توان چانه‌زنی پیمانکار می‌شود.

۲. هر چه پیمانکار هزینه‌های شکستن خود را بیشتر جلوه دهد، کارفرما به جبران زمان کمتری قناعت خواهد کرد.

۳. حسن شهرت، توانمندی بالای پیمانکار، امکان به کارگیری منابع و پرسنل در سایر پروژه‌ها، هزینه‌ی تضییع روابط با کارفرما را کم جلوه می‌دهد و باعث تقویت موضع پیمانکار است.

۴. هر چه جریمه‌ی تأخیر کمتری در محدوده‌ی مذاکره انتخاب شود، عامل تنزیل پیمانکار بیشتر می‌شود.

۵. عدم ابهام در مفاد قرارداد، به کارگیری وکلای خبره و آمادگی جهت شرایط پیش‌بینی‌نشده، باعث کاهش احتمال زیان می‌شود.

۶. وجود دفتر فنی کارآمد و ارائه‌ی برنامه‌ی زمان‌بندی صحیح و واقعی برای پروژه، کنترل برنامه‌ی زمان‌بندی، باعث کشف هر چه سریع‌تر انحراف از برنامه‌ی زمان‌بندی می‌شود.

۷. مدیریت صحیح و بهره‌وری بالا در به‌کارگیری منابع و نیروی انسانی، آمادگی و توانایی تطبیق با شرایط پروژه و در صورت لزوم به کارگیری تکنولوژی‌های جدید، تغییر رویکردهای مدیریتی و انعطاف‌پذیری در مواجهه با شرایط مختلف باعث کاهش احتمال تأخیر و زیان احتمالی پیمانکار می‌شود.

۸. پیمانکار می‌تواند با به‌کارگیری تدابیری از حدوث شرایط فسخ پیشگیری کند و این باعث تضعیف قدرت چانه‌زنی کارفرما می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

تأخیر در پروژه‌های عمرانی می‌تواند به دلایل متعددی روی دهد و شناسایی عوامل مؤثر در آن بارها مورد مطالعه قرار گرفته است. این نوشتار ضمن ارائه‌ی یک مدل ریاضی با رویکردی گام به گام به تحلیل رفتار و راهبرد طرفین درگیر با مسئله‌ی تأخیر پرداخته است. البته حل و فصل این نوع منازعات ساخت و ارائه‌ی راه حلی مشخص از طریق ارائه‌ی «درخت بازی پروژه‌های مواجه با تأخیر» برای هر پروژه، اقدامی بوده است که برای اولین بار در این پژوهش انجام شده است. این مدل به کارفرمایان و پیمانکاران کمک می‌کند تا ضمن کسب درکی عمیق‌تر از مسئله‌ی تأخیر، به تحلیلی نسبتاً دقیق از موقعیت خود و راهبردهای ممکن در مواجهه با چنین شرایطی برسند.

با تحلیل مدل می‌توان دریافت که پارامترهای دخیل در مسئله می‌توانند در وسعت بازه‌ی مذاکره مؤثر باشند؛ هر چه توان چانه‌زنی کارفرما بیشتر باشد، بازه مذاکره به سمت زمان‌های جبرانی بیشتر گسترش می‌یابد و با کاهش آن زمان‌های جبرانی بزرگ غیرمعتبر می‌شوند.

چنانچه جریمه‌ی تأخیر نامتناسب با سایر پارامترهای پروژه باشد، می‌تواند در نتیجه‌ی مذاکره بی اثر باشد؛ به این معنا که با بزرگی بیش از حد جریمه‌ی تأخیر برای کارفرما، مقایسه‌ی پیامد توافق با فسخ یا خاتمه‌ی پیمان تنها معیار است و با کوچک‌بودن آن نیز، پیمانکار نگرانی از جهت تأخیر ندارد. بنابراین، جریمه‌ی تأخیر در بازه مذاکره بی‌اثر می‌شود. اما انتخاب درست جریمه‌ی تأخیر می‌تواند در بازه مذاکره اثرگذار باشد، به نحوی که کارفرما بدون تهدید و پیمانکار به‌صورت داوطلبانه با صرف زمان و هزینه‌ی کمی به توافقی برای جبران زمانی منطقی از تأخیر دست یابند.

با دقت در مطالعه‌ی موردی ارائه‌شده ملاحظه می‌شود که با افزایش قدرت چانه‌زنی کارفرما، نقطه‌ی توافق به سمت زمان تمدیدهای کوتاه‌تر میل می‌کند و بالعکس.

آنالیز گام به گام مدل نشان داده است که چه ویژگی‌هایی می‌تواند مذاکره را تهدید کند و بر پایه‌ی آن پیشنهادهایی برای راهبردهای دو طرف ارائه شده است. مدل مذکور می‌تواند به طرفین کمک کند تا در خصوص پروژه، به جای صرف وقت زیاد، زودتر به نتیجه‌یی منطقی و واقع‌گرایانه برسند. همچنین در مدل فرضیاتی لحاظ شده است که امکان توسعه‌ی آن برای دیگران را مقدور می‌سازد.

پانوشت‌ها

1. public- private partnership
2. action
3. payoff functions
4. rationality
5. extensive form
6. perfect knowledge game
7. non-cooperative
8. Nash equilibrium
9. backward induction
10. the sub game- perfect Nash equilibrium (SPNE)
11. non-credible
12. discount factor

منابع (References)

1. Chan, D.W.M. and Kumaraswamy, M.M. "Compressing construction durations: Lessons learned from Hong Kong building projects", *Int. J. Project Manage.*, **20**(1), pp. 23-35 (2002).
2. Majid, M. and McCaffer, R. "Factors of non-excusable delays that influence contractors' performance", *J. Manage. Eng.*, **14**(3), pp. 42-49 (1998).
3. Assaf, S.A. and Al-Hejji, S. "Causes of delay in large construction projects", *Int. J. Project Manage.*, **24**(4), pp. 349-357 (2006).
4. Mahamid, I., Bruland, A. and Dmaidi, N. "Causes of delay in road construction projects", *J. Manage. Eng.*, **28**(3), pp. 300-310 (2012).
5. Bhargava, A., Anastasopoulos, P., Labi, S., Sinha, K. and Mannering, F. "Three-stage least-squares analysis of time and cost overruns in construction contracts", *J. Constr. Eng. Manage.*, **136**(11), pp. 1207-1218 (2010).
6. Yang, J. and Tsai, M. "Computerizing ICBF method for schedule delay analysis", *J. Constr. Eng. Manage.*, **137**(8), pp. 583-591 (2011).
7. Nguyen, L., Kneppers, J., Garcĺa de Soto, B. and Ibbs, W. "Analysis of adverse weather for excusable delays", *J. Constr. Eng. Manage.*, **136**(12), pp. 1258-1267 (2010).
8. Apipattanavis, S., Sabol, K., Molenaar, K., Rajagopalan, B., Xi, Y., Blackard, B. and Patil, S. "Integrated framework for quantifying and predicting weather-related highway construction delays", *J. Constr. Eng. Manage.*, **136**(11), pp. 1160-1168 (2010).
9. Anastasopoulos, P., Labi, S., Bhargava, A. and Mannering, F. "Empirical assessment of the likelihood and duration of highway project time delays", *J. Constr. Eng. Manage.*, **138**(3), pp. 390-398 (2012).
10. Frimpong, Y., Oluwoye, J. and Crawford, L. "Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study", *Int. J. Project Manage.*, **21**(5), pp. 321-326 (2003).
11. Chan, D.W.M. and Kumaraswamy, M.M. "A comparative study of causes of time overruns in Hong Kong construction projects", *Int. J. Project Manage.*, **15**(1), pp. 55-63 (1997).
12. Al-Khalil, M. and Al-Ghafly, M. "Delay in public utility projects in Saudi Arabia", *Int. J. Project Manage.*, **17**(2), pp. 101-106 (1999).
13. Ibbs, W., Nguyen, L. and Simonian, L. "Concurrent delays and apportionment of damages", *J. Constr. Eng. Manage.*, **137**(2), pp. 119-126 (2011).
14. Ho, S. and Liu, L. "Analytical model for analyzing construction claims and opportunistic bidding", *J. Constr. Eng. Manage.*, **130**(1), pp. 94-104 (2004).
15. Shen, L.Y., Bao, H.J. and Lu, S.W. "Using bargaining-game theory for negotiating concession period for BOT-type contract", *J. Constr. Eng. Manage.*, **133**(5), pp. 385-392 (2007).
16. Kassab, M., Hegazy, T. and Hipel, K. "Computerized DSS for construction conflict resolution under uncertainty", *J. Constr. Eng. Manage.*, **136**(12), pp. 1249-1257 (2010).
17. Ho, S. "Model for financial renegotiation in public-private partnership projects and its policy implications: Game theoretic view", *J. Constr. Eng. Manage.*, **132**(7), pp. 678-688 (2006).
18. Tserng, H., Russell, J., Hsu, C. and Lin, C. "Analyzing the role of national PPP units in promoting PPPs: Using new institutional economics and a case study", *J. Constr. Eng. Manage.*, **138**(2), pp. 242-249 (2012).
19. Ping Ho, S. "Bid compensation decision model for projects with costly bid preparation", *J. Constr. Eng. Manage.*, **131**(2), pp. 151-159 (2005).
20. Unsal, H. and Taylor, J. "Modeling interfirm dependency: Game theoretic simulation to examine the holdup problem in project networks", *J. Constr. Eng. Manage.*, **137**(4), pp. 284-293 (2011).
21. Asgari, M.S. and Afshar, A. "Modeling subcontractors cooperation in time; Cooperative game theory approach", First International Conference on Construction In Developing Countries (ICCIDC–I), Karachi, Pakistan, pp. 312-319 (2008).
22. Wu, J., Kumaraswamy, M. and Soo, G. "Regulative measures addressing payment problems in the construction industry: A calculative understanding of their potential outcomes based on gametric models", *J. Constr. Eng. Manage.*, **137**(8), pp. 566-573 (2011).
23. Cheung, S. and Pang, K. "Anatomy of construction disputes", *J. Constr. Eng. Manage.*, **139**(1), pp. 15-23 (2013).
24. El-adaway, I. and Kandil, A. "Multiagent system for construction dispute resolution (MAS-COR)", *J. Constr. Eng. Manage.*, **136**(3), pp. 303-315 (2010).
25. Yousefi, S., Hipel, K. and Hegazy, T. "Attitude-based negotiation methodology for the management of construction disputes", *J. Manage. Eng.*, **26**(3), pp. 114-122 (2010).
26. Jui-Sheng, C. "Comparison of multilabel classification models to forecast project dispute resolutions", *Expert Systems with Applications*, **39**(11), pp. 10202-10211 (2012).
27. Cheung, S. and Chow, P. "Withdrawal in construction project dispute negotiation", *J. Constr. Eng. Manage.*, **137**(12), pp. 1071-1079 (2011).

28. Estévez-Fernández, A. "A game theoretical approach to sharing penalties and rewards in projects", *European Journal of Operational Research,* **216**(3), pp. 647-657 (2012).

29. Castro, J., Gómez, D. and Tejada, J. "A project game for PERT networks", *Operations Research Letters,* **35**(6), pp. 791-798 (2007).

30. Abdoli, G., *Game Theory and Its Applications*, University of Tehran Jahad Daneshgahi Press, Tehran (2007).

31. Muthoo, A., *Bargaining Theory with Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, England (1999).

32. Nash, J.F. "Equilibrium points in n-person games", *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.,* **36**(1), pp. 48-49 (1950).

33. Harsany, J. and Selten, R. "A generalized nash solution for two-person bargaining games with incomplete information", *Management Science, INFORMS,* **18**(5-Part-2), pp. 80-106 (1972).

34. Kalai, E. and Smorodinsky, M. "Other solutions to Nash's bargaining problem", *Econometrica,* **43**(3), pp. 513-518 (1975).

35. Danaei Far, Alvani, M., Atar, A., Quantitative research methodologies, Safar Press, Tehran (2013).